

ANÁLISIS DE VELOCIDADES DE VIENTO ATMOSFERICAS MEDIAS HORARIA ANUAL EXTREMA A TRAVES DEL ANALISIS PROBABILISTICO DE REGISTROS CORTOS

De Bortoli¹, M. E.; Canavesio², O.; Benitez¹, F.; Makuch¹, F.

Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional (UTN). C.P. 3500 – Resistencia – Chaco - Argentina

Facultad de Ingeniería, (UNNE) C.P. 3500 – Resistencia – Chaco - Argentina

Tel. 03722-41114 –e-mail: m_debortoli@yahoo.com.ar

RESUMEN: El presente trabajo se refiere al análisis probabilístico de velocidades medias horarias extremas anuales correspondiente a la estación del Aeropuerto Schiphol (Alemania) provista por "Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut", en Internet. Aplicando la función de distribución de probabilidad de extremos, se evaluó la variación de la velocidad probable a ser excedida en un nivel de probabilidad fijo, sobre registros continuos de velocidades adquiridas en un lapso de tiempo de 5, 25,35 y 50 años, suponiendo que los registros de velocidades tienen una duración constante de 51 años. Posteriormente se compararon los valores hallados con la velocidad probable real obtenida en 50 años de registro continuo. Para la estación de monitoreo se determinó el tiempo mínimo de registro necesario para que la velocidad obtenida por este procedimiento se halle en un entorno respecto a la velocidad probable real y además, el tiempo de retorno para una velocidad media horaria extrema constante.

Subject: 06- De Bortoli

Palabras clave: viento atmosférico, aleatorio, velocidades extremas, probabilidad.

INTRODUCCION

En estructuras expuestas a la acción del viento atmosférico interesa conocer la máxima velocidad del viento probable a ocurrir durante la vida útil de la misma. Como las estructuras civiles se diseñan para aproximadamente 50 años, dependiendo de la finalidad de la construcción, para su cálculo es necesario conocer la máxima velocidad del viento en dicho lapso de tiempo.

El viento atmosférico al incidir sobre una construcción provoca un estado de carga que debe considerarse para determinar los esfuerzos y sollicitaciones, que definirán las dimensiones estructurales. Una clasificación de la respuesta de las estructuras a la acción del viento es estática y dinámica. En la primera, la estructura no participa en la generación de energía y la carga depende de la forma de la construcción y de las características dinámicas del viento incidente, en la segunda, depende además de las propiedades dinámicas de la estructura.

No obstante que el viento es un fenómeno temporal continuo, variando la velocidad en segundos (ráfagas), para producir una acción sobre una estructura debe actuar durante cierto tiempo. El intervalo durante el cual las velocidades instantáneas se promedian para determinar la velocidad media del viento y que definirá la respuesta estática de la estructura, los códigos de viento lo establecen generalmente en una hora (Blessmann, 1986; 1994; 1995).

El viento, desplazamiento del aire en el interior de la capa límite atmosférica, constituye un flujo turbulento, aleatorio, para su descripción y análisis es necesario recurrir a la estadística y probabilidad. El valor extremo de un fenómeno físico se define como el máximo valor positivo o el mínimo valor negativo obtenido del registro de la variable. Esto implica que la mayor parte los datos registrados son descartados, reteniéndose solo algunos.

Para realizar un análisis mediante funciones probabilísticas, deben definirse los parámetros estadísticos presentes en la expresión y para ello es necesario una muestra representativa del evento a analizar. Como el evento en cuestión se refiere a velocidades de viento medias horaria anual extrema, por cada año de registro de velocidades solo se retendrá el valor máximo de velocidad anual y constituirá una nueva población de eventos máximos anuales.

Cada valor retenido es un valor máximo correspondiente al evento aleatorio "velocidades medias horaria anual", entonces es válido suponer que la curva de distribución del nuevo fenómeno aleatorio de "velocidades medias horaria extrema anual" dependerá de la forma de la curva de registros de velocidades anuales. Por ejemplo, para un análisis probabilístico de extremos anuales de 50 muestras, se necesitarían 50 años continuos de adquisición de velocidades medias horarias anuales (aproximadamente 439000 valores de velocidades medias horarias). En general registros de tal magnitud no son frecuentes y de obtenerlos, no son continuos.

El presente trabajo se refiere al análisis probabilístico de velocidades medias horaria extrema anual correspondiente a la estación Aeropuerto Schiphol provista por el "Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut" (KNMI) en Internet

¹ Investigador, Facultad Regional Resistencia, UTN

² Investigador, Facultad de Ingeniería, UNNE

(<http://www.knmi.nl/samenw/hydra/register/index.html>). Aplicando la función de distribución de probabilidad de extremos, se evaluó la variación de velocidades cuando en un registro de tiempo variable (1, 5, 25,35 y 50 años) se determinó la velocidad probable a ser excedida a un nivel de probabilidad fijo y para un registro de 50 años continuos, cambiando el período de registro inicial por un período fijo de observación. Posteriormente para evaluar la sensibilidad del método de Gumbel al determinar las constantes por regresión lineal y efectuar el cambio en el período de observación, las mismas se hallaron aplicando conceptos estadísticos y se compararon los valores hallados con las constantes y la velocidad probable real obtenida en 50 años de registro continuo. Además, para la estación de monitoreo se determinó el tiempo mínimo de registro necesario para que la velocidad obtenida por este procedimiento, se halle en un entorno respecto a la velocidad probable real. Finalmente, en cada muestra de tiempo variable manteniendo constante la velocidad media horaria extrema anual, se halló el período de retorno, es decir, una vez acaecida la velocidad de diseño, el tiempo medio probable a transcurrir hasta que nuevamente se repita el suceso.

FUNCION DE DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD DE VELOCIDADES MEDIA HORARIA EXTREMA ANUAL DEL VIENTO ATMOSFERICO A TRAVES DEL PROCESAMIENTO DE SU REGISTRO

La máxima velocidad media horaria anual se refiere a los máximos valores registrados en períodos de observación de un año. Como las muestras que forman el nuevo evento son los máximos valores de los registros originales de velocidades medias horaria anual, es válido suponer que la curva definida por la nueva población de máximas depende de la forma superior de la curva de distribución acumulada de los registros de velocidades medias horaria anual, donde se representan los máximos valores.

La función de distribución de valores extremos se representa en función de la curva de distribución de registros de velocidades medias anual. Designando a $x_{\text{máx}}\{n\}$ como el máximo valor de n observaciones de la variable x en N registros, siendo las observaciones de x estadísticamente independientes, la distribución acumulativa de $x_{\text{máx}}\{n\}$ es dada por:

$$P_{x_{\text{máx}}\{n\}} = P_x^N \quad (1)$$

La función de distribución Fisher-Tippet Tipo I (*FTI*), Fisher-Tippet Tipo II (*FTII*) y Fisher-Tippet Tipo III (*FTIII*), se obtuvo específicamente para describir los máximos valores probables a adquirir la variable aleatoria (Bendat and Piersol, 1967). Al incrementar el tamaño de la muestra n , las curvas convergerán hacia una de las tres funciones de extremos, dependiendo de la forma de la curva de distribución de los registros originales obtenidos.

DISTRIBUCION FISHER-TIPPET TIPO I (FTI)

La *FTI* o distribución de Gumbel es la forma asintótica de la función de distribución de valores extremos, si la curva de la función de distribución de los registros de los eventos en sus extremos es una exponencial negativa, con una expresión general de la forma

$$P_x = 1 - e^{-g\{x\}} \quad (2)$$

donde $g\{x\}$ es una función monótona creciente de x . Esta forma incluye a las distribuciones de Weibull, y entre ellas, a la de Rayleigh, dada por la ecuación:

$$P_V = 1 - e^{(-V^2/2V'^2)} \quad (3)$$

donde V' es la desviación estándar de V , y la constante $k=2$. Así, la distribución *FTI* es utilizada como modelo de distribución de probabilidades de las velocidades medias horaria anual extrema de viento atmosférico y su forma en medida estándar es única, dada por la expresión:

$$P_y = e^{-e^{-y}} \quad (4)$$

La medida estándar, llamada variable reducida y se define como

$$y = a(x_{\text{máx}} - U) \quad (5)$$

donde U es la moda, $1/a$ la dispersión y $x_{\text{máx}}$ la variable extrema. La función acumulativa nuevamente tiene la forma característica de una curva "S". Aplicando a la expresión (4) doble logaritmo, se reduce a

$$-\ln(-\ln P) = y \quad (6)$$

Graficando la acumulativa *FTI* como $-\ln(-\ln P)$ contra $x_{\text{máx}}$, la forma "S" de la curva se transforma en una línea recta. Luego los parámetros moda (U) y dispersión ($1/a$) se obtienen mediante el ajuste a una recta de valores correspondiente a la

expresión $-\ln(-\ln P)$ y los extremos $x_{m\acute{a}x}$, como la ordenada al origen y la pendiente de la línea recta respectivamente. Estos ejes son denominados “ejes Tipo I” y el procedimiento de ajuste gráfico es conocido como “Diagrama de Gumbel” (Palese, 1999).

El período de observación más frecuente es de 1 año ($N=1$) y solamente un valor extremo cada 8766 valores de registro ($n= 8766$ sucesos) es retenido. Así no cabe duda de la independencia estadística de los extremos obtenidos. Al retener la velocidad máxima del registro de velocidad de viento sobre N años las máximas acumulativas formarán nueva población de valores, descrita por su propia distribución de probabilidad. Para el caso trivial de $N=1$ el procedimiento obviamente resultará en la acumulativa idéntica al de registro. Cuando N aumenta con períodos de observaciones mayores (N años), la elección de la máxima de cada muestra resultará en un desplazamiento a los máximos valores, modificándose la acumulativa del registro.

Para valorar adecuadamente las velocidades medias horaria extrema anual del viento atmosférico mediante un análisis probabilístico en un período de 50 años ($N=50$), es necesario disponer de cierto número de muestras continuas. El principal inconveniente radica en la indisponibilidad de registros que permitan obtener 50 valores extremos. Al poseer pocas muestras para valorar la exactitud del modelo de distribución adoptado, es necesario recurrir a la teoría de valores extremos.

CAMBIO DEL PERIODO DE OBSERVACION

Al aumentar el número de período de observación (N), es probable que el extremo ocurra en algún instante dentro de éste (Cook, 1985). Tomando como período de observación original a T_0 , período corto pero suficiente para asegurar la independencia estadística de los valores extremos, la expresión matemática que permite relacionar la función de distribución correspondiente a ese período T_0 a otro período de observación T_1 mayor, es la siguiente:

$$P\{T = T_1\} = P\{T = T_0\}^{T_1/T_0} \quad (7)$$

En este caso, la función de distribución de acumulada inicial $P\{T = T_0\}$ es de los extremos y no corresponde a la función de distribución de los registros iniciales (Rayleigh). Al pasar de un período $T = T_0$ a otro mayor $T = T_1$, los parámetros de la ecuación (5) de la fórmula Fisher-Tippett se obtienen por las expresiones siguientes:

$$1/a\{T = T_1\} = 1/a\{T = T_0\} \quad (8)$$

$$U\{T = T_1\} = U\{T = T_0\} + \ln(T_1/T_0)/a\{T = T_0\} \quad (9)$$

El efecto de incrementar el período de observación es desplazar la nueva variable reducida de los valores anteriores por el logaritmo de la relación del período de observación,

$$y\{T = T_1\} = y\{T = T_0\} - \ln(T_1/T_0) \quad (10)$$

Este procedimiento es aplicado al calcular la presión dinámica de diseño de estructuras expuestas al viento, donde el período de exposición o vida útil de la construcción (T_1) es considerado equivalente al período de observación N , relacionando los registros de vientos extremos obtenidos (T_0) con los períodos de exposición convenientemente adoptados (T_1).

En Tabla 1 se presenta para cada muestra con período inicial variable (T_0) el intervalo en años de muestreo correspondiente.

Tabla 1: Años de muestreo correspondiente a cada período inicial T_0

Período Inicial T_0	Desde – Hasta (años)
5	1996 – 2000
15	1986 – 2000
25	1976 – 2000
35	1966 – 2000
51	1950 – 2000

En cada registro inicial T_0 , expresado en años, se retuvieron las máximas velocidades medias horarias por año de observación, determinando posteriormente la probabilidad acumulada correspondiente. Luego, se graficaron las probabilidades acumuladas contra las velocidades máximas, determinándose las constantes U y a mediante el ajuste de valores a una recta, como la ordenada al origen y la pendiente de la recta respectivamente. Las constantes así halladas corresponden al período de observación inicial variable y con las expresiones (8) y (9) se modificó el período de observación inicial T_0 al período T_1 correspondiente a 51 años.

Además, para evaluar la sensibilidad del método de Gumbel al determinar las constantes por regresión lineal y efectuar el cambio en el período de observación, las mismas se hallaron aplicando conceptos estadísticos. Los momentos estadísticos de una función de variable extrema Tipo I puede obtenerse vinculándolos con la expresión de la función de generación de momentos de la función extrema Tipo I en variables extremas estandarizadas (y) (Ang y Tang, 1975). Gumbel evaluó las derivadas en ésta última expresión en $t=0$, hallando las siguientes expresiones:

$$U = \mu_V - \frac{0.5772156}{\alpha} \quad \alpha = \frac{\pi}{\sigma_V \sqrt{6}} \quad (11)$$

donde μ_V representa la media aritmética de la muestra de las velocidades extremas y σ_V la desviación estándar de la muestra.

Como la muestra correspondiente al período inicial $T_0 = 51$ años se consideró constituida por un número de eventos representativos del fenómeno de velocidades extremas, se determinó su media y desviación estándar, y finalmente los parámetros de la función Fissher – Tippet Tipo I a través de las expresiones dadas anteriormente (11). La muestra en la que se obtuvieron los parámetros por este procedimiento se denominó T_{OR} (tiempo inicial real).

En Tabla 2 se presentan valores de las constantes obtenidas por el método de Gumbel (regresión lineal) y aplicando el procedimiento de cambio de escala en el período de observación, de un período de registro inicial (T_0) de 5, 15, 25, 35 y 51 años a un período constante (T_1) de 51 años respectivamente. En la última columna se observan las constantes halladas mediante la expresión (11) sin cambio de escala.

Tabla 2: Constantes a y U al pasar del período inicial T_0 variable al período final T_1 constante de 51 años

Const. de FTI para T_0 variable a un T_1 fijo	Cambio de escala al pasar del período de observación inicial T_0 al final T_1											
	$T_0=5$	$T_1=51$	$T_0=15$	$T_1=51$	$T_0=25$	$T_1=51$	$T_0=35$	$T_1=51$	$T_0=51$	$T_1=51$	$T_{OR}=51$	$T_{IR}=51$
$a_0 = a_1$	0.0257	0.0257	0.0316	0.0316	0.0374	0.0374	0.0426	0.0426	0.0426	0.0426	0.0498	0.0498
U_{T_1}	194.16	284.53	193.04	231.77	191.36	210.42	193.76	202.60	195.19	195.19	198.75	198.75

Con las constantes correspondiente al período final $T_1 = 51$ años, se graficaron las velocidades medias horaria extrema anual contra las probabilidades acumuladas (Fig. 1) para cada período inicial T_0 variable. Además se representó la curva de distribución con las constantes obtenidas por la expresión (11), denominándola curva 51st.

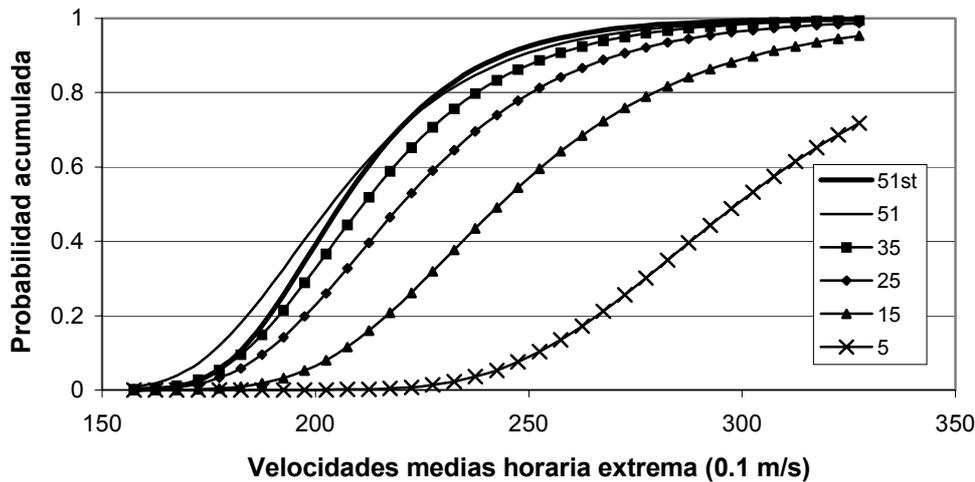


Fig. 1: Distribución de probabilidades acumuladas de las velocidades medias horarias extremas anuales atmosféricas

En Fig. 2 se muestra únicamente la distribución de probabilidades con registros iniciales de 5 y 51 con cambio de escala temporal a registro final de 51 años respectivamente. Además, para observar la bondad del procedimiento propuesto por Gumbel, se incluye la curva 51st obtenida por el procesamiento estadístico de la muestra.

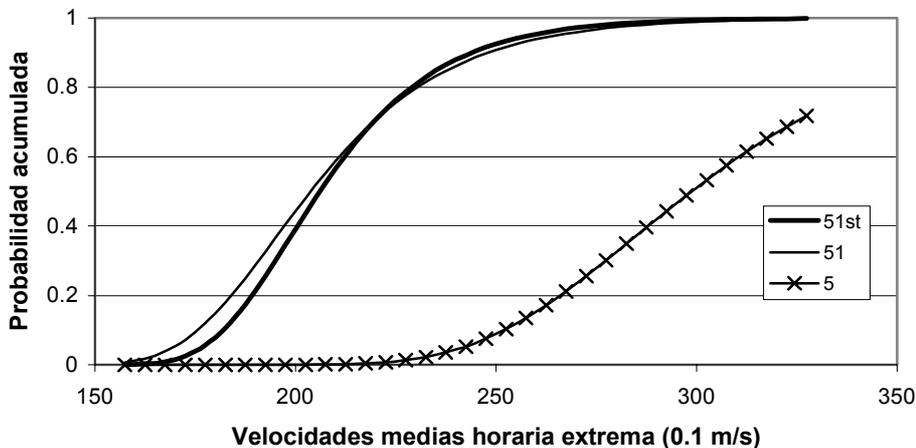


Fig. 2: Distribución de probabilidades acumuladas de las velocidades medias horarias extremas anuales atmosféricas

Con las curvas de distribución de probabilidades obtenidas se determinó para una velocidad media constante, la probabilidad de obtener valores menores o iguales a la velocidad de referencia. Los valores obtenidos se muestran en Tabla 3.

Tabla 3: Probabilidad acumulada para una velocidad media extrema constante al pasar de un periodo inicial T_0 variable a un periodo final T_1 constante de 51 años

Velocidad media extrema (m/s)	Probabilidad acumulada para los periodos iniciales en años					
	$T_0=5$	$T_0=15$	$T_0=25$	$T_0=35$	$T_0=51$	$T_{OR}=51$
21.25	0.002	0.159	0.396	0.519	0.620	0.604
25.25	0.103	0.595	0.813	0.888	0.917	0.934
27.75	0.302	0.790	0.922	0.960	0.970	0.980

PERIODO DE RETORNO O DE RECURRENCIA DE LOS EXTREMOS (T_R)

La función de distribución acumulativa de los extremos para N periodo de observación, describe la probabilidad que cierta magnitud no sea excedida durante ese periodo. De manera similar, la diferencia entre la unidad y la acumulada, es el riesgo de excedencia ($Q_{(V)}$) en el periodo de observación. Para cada valor de probabilidad que fije $P_{(V)}$ se obtiene la velocidad máxima promedio que no será excedida.

Esta información se refiere al dominio de la amplitud de la variable (velocidad), pero no se refiere a la recurrencia de los extremos de una magnitud dada en N números de periodos de observación, denominado periodo de retorno o de recurrencia (T_R) (Blessmann, 1979).

De la definición de probabilidad, relación del número de eventos favorables respecto a todos los eventos posibles, se establece una analogía con el periodo de recurrencia. Así, la probabilidad del evento aleatorio “ocurrencia de una velocidad máxima al máximo valor obtenido en N periodos de observación”, siendo $N=50$ resulta $P=0.02$.

El periodo de retorno sin provenir estrictamente de un concepto probabilístico indica que una vez producido el evento, que lapso de tiempo medio debe transcurrir hasta que nuevamente ocurra el evento. Este concepto, ampliamente utilizado en la ingeniería estructural al analizar el viento como estado de carga, queda definido por el cociente entre la unidad (número de evento favorable) y, aplicando la analogía probabilística definida anteriormente, la probabilidad que se produzca el evento. Como el evento definido es la ocurrencia de una velocidad mayor, la probabilidad acumulada es el riesgo de excedencia ($Q_{(V)}$) del evento aleatorio de velocidades medias horaria máxima anual. El periodo de retorno está dado por:

$$T_{R(x_s)} = \frac{1}{\Pr(x > x_s)} = \frac{1}{1 - P(x_s)} = \frac{1}{Q(x_s)} \quad (12)$$

Estrictamente T_R es el intervalo de recurrencia medido en números de periodos de observación y el periodo de retorno en años es el producto ($T_R * T$). Sin embargo, como el uso de un periodo de observación de 1 año ($T=1$ año) es prácticamente universal, T_R es designado como el periodo de retorno en años (Reglamento CIRSOC 102, 1982).

En Fig. 3 se observa el periodo de recurrencia en función de las velocidades medias horaria extrema anual para distintos periodos de observación, una vez producido el cambio de escala a 51 años de observación continua.

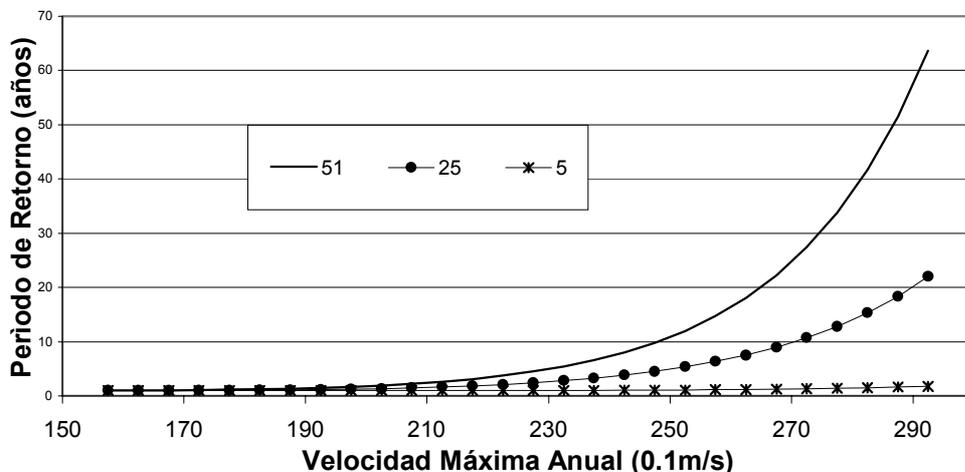


Fig. 3: Periodo de Retorno de las velocidades medias horarias anuales extremas para periodos inicial es de 5, 25 y 51 años

En Tabla 4 se muestra el periodo de retorno obtenido para velocidades medias horaria máxima anual, considerando un periodo continuo de 50 años.

Tabla 4: Período de Retorno para una velocidad media horaria extrema fija

Velocidades extremas anuales	PERIODO DE RETORNO PARA LAS VELOCIDADES MEDIAS HORARIAS EXTREMAS EN AÑOS											
	T ₀ = 5		T ₀ = 15		T ₀ = 25		T ₀ = 35		T ₀ = 51		T _{OR} = 51	
	Q	T _R	Q	T _R	Q	T _R	Q	T _R	Q	T _R	Q	T _R
21.25	1.00	1.00	0.84	1.19	0.60	1.66	0.48	2.08	0.38	2.63	0.40	2.52
25.25	0.90	1.11	0.41	2.47	0.19	5.34	0.11	8.89	0.08	11.99	0.07	15.04

DISCUSION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó un análisis estadístico y probabilístico de velocidades medias horaria extrema anual. Para determinar el grado de incidencia que tienen el número de períodos de observación, se analizaron distintas muestras con períodos en aumento.

De los resultados se concluye que en un estudio que aplique la hipótesis básica de la probabilidad (muestra representativa e independencia estadística) en un evento de velocidades máximas de viento atmosférico para la localidad de monitoreo, es necesario más de 35 años de registro continuo. Como se observa en Figura 1 y Tabla 2 los valores de las constantes obtenidas por el ajuste de curvas fueron similares cuando el período de observación inicial fue mayor a 35. Además, las constantes determinadas por el método de Gumbel convergen hacia los valores obtenidos procesando los datos de la muestra representativa del evento (T_{OR}) sin considera el cambio de escala.

Para períodos menores, los valores de probabilidad acumulada para una velocidad extrema constante, resulta un valor por exceso. En Figura 2 se manifiesta el efecto ocasionado al cambiar la escala de observación, trasladando los máximos valores de velocidades a la parte superior de la curva de distribución de probabilidades. Además se infiere, que una vez adoptado un nivel de probabilidad y determinada la velocidad de diseño al interceptar las curvas de distribución de probabilidades, los valores de cargas obtenidos en la curva correspondiente a un período de observación inicial de cinco años es sensiblemente mayor que la correspondiente al período de observación inicial de 51 años.

En Tabla 3 se muestran las diferencias de probabilidades acumuladas por exceso al disminuir el período de observación inicial.

Por último, se determinó el período de retorno para cada muestra. Como se observa en Tabla 4, los valores determinados para un período de observación superior a los 35 años, muestran una tendencia asintótica a los valores determinados con la muestra más representativa del evento aleatorio (51 años de registro continuo).

Las variaciones obtenidas en los parámetros de las curvas de distribución y las velocidades medias extremas sugieren que al analizar un evento aleatorio de valores máximos, es necesario disponer de una muestra representativa superior al 2/3 del período completo. De lo contrario, los valores que se obtengas serán evaluados por defecto.

REFERENCIAS

- Claudia Palese, (1999). Vientos intensos en la región norpatagónica. ASADES Vol. N 3, 1999. Pág. 6.17-6.20.
- D N. J. Cook, (1985). The designer's guide to wind loading of building structures. Part 1: Background, damage survey, wind data and structural classification. Building Research Establishment. 1985, Londres, Inglaterra.
- S. Bendat, Allan G. Piersol, (1967). Measurement and Analysis of Random Data, 1967, John Wiley & Sons, Inc., EEUU.
- Joaquim Blessmann, (1986). O vento na Engenharia Estrutural, 1ª Parte. Curso de Pós-graduação em engenharia civil, Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, 1986, Porto Alegre, Brasil.
- Joaquim Blessmann, (1994). O vento na Engenharia Estrutural, 2ª Parte. Curso de Pós-graduação em engenharia civil, Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, 1994, Porto Alegre, Brasil.
- Joaquim Blessmann, (1995). O vento na engenharia estrutural. Editora da Universidade / UFRGS, Porto Alegre, RS-Brasil.
- Joaquim Blessmann (1979). Considerações sobre alguns topicos para uma norma de vento. Porto Alegre, Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Reglamento Argentino CIRSOC 102 (1982). Acción del viento sobre las construcciones.
- Alfredo H. S. Ang, Wilson H. Tang, (1975). Probability concepts in Engineering Planning and Design. Vol. I y II. John Wiley & Sons, Inc. (1975).

ABSTRACT

This paper examines the traditional Gumbel extreme value method for analyzing annual maximum wind speeds on data gathered at Schiphol airport (Germany). Raw data was downloaded from the web site of the "Royal Netherlands Meteorological Institute". Applying the Gumbel distribution function the variation of the probable velocity to be exceeded within a fixed probability level was evaluated. The analysis was based on velocity data observation registers gathered continuously over time spans of 5, 25, 35 and 51 years and assuming each as having a constant duration of registers 51 years (changes of observation period). Calculated values were compared against real probable velocity obtained during 51 years of continuous monitoring. Furthermore, the measurements minimum time required to make the so calculated velocity a fixed probability level fall within a given interval around real probable velocity, as well as the return period for a constant extreme winds velocity were both determined for the monitoring station studied.

Keywords: atmospheric winds, random, extreme winds, probability.